

新技術開発探訪

災害対策用機械の 情報化施工技術活用検討について

1. はじめに

災害発生時の復旧作業において、二次災害が懸念される施工については、安全性の確保という観点から、遠隔操縦による無人化施工が採用されており、平成23年3月の東日本大震災においても無人化施工が実施されている。しかし、無人化施工は、作業員の安全性確保に対しては非常に有効であるものの、搭乗施工に比べ作業効率が極端に低下するという問題を抱えている。

本検討では、すでに一般化しつつある情報化施工技術を災害現場に適用し、応急・緊急復旧における無人化施工の作業効率向上を図るため、通常手法とは異なる迅速性に重点をおいた情報化施工技術の活用手法について検討を行ったものである。

2. 情報化施工技術活用のねらい

本検討においては、情報化施工技術の活用対象を災害発生時の応急復旧と定め、以下に示す観点で活用手法の検討を行った。

- ① 天然ダム発生時の仮排水路造成や土砂崩れ箇所の啓開作業等、時間的制約がある緊急的な作業を規定し、情報化施工に必要な事前準備段階における各作業の迅速化を図られるか。
- ② 作業員が入り込めない危険箇所における無人

化施工を対象とし、遠隔操縦による作業効率の低下を極力抑えることが可能かどうか。

3. 無人化・情報化施工システムの構築

本検討の対象とする建設機械としては、災害時の応急・緊急復旧時に一般に多く用いられるバックホウを選定し、また、情報化施工技術としては、バックホウ用の技術として普及しているマシンガイダンス（以下「MG」という）を選定した。

またMG機器の選定に当たっては、想定される災害発生箇所の現場条件から、山間部など人工衛星による測位が不安定な場合を考慮し、重機の位置測位について自動追尾トータルステーション（以下「TS」という）方式も利用可能な機種を選定した。

写真 1 図 1 に本検討で使用した遠隔操縦式バックホウおよびMG用機器の取付け図を示す。



写真 1 遠隔操縦式バックホウ（0.5m³級）

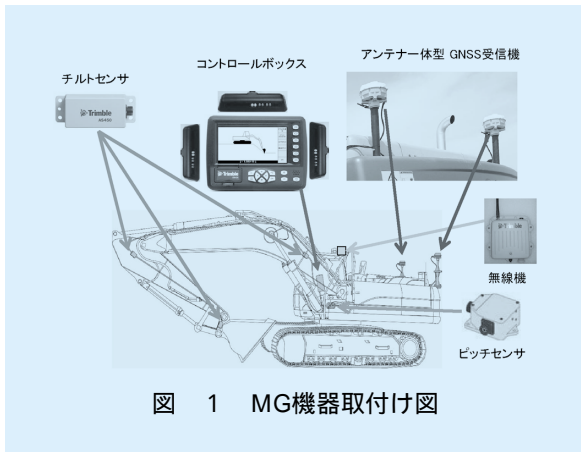


図 1 MG機器取付け図

4. 現場適応性試験

情報化施工を災害発生時の応急復旧作業で活用するための手順を図 2 に示す。災害発生時の応急復旧における情報化施工の適応性について確認するため、フローに示した準備段階から施工段階まで各段階に係る試験を実施し、各作業に要する時間および精度を検証した。

(1) 地形データ取得試験

災害現場における地形データの取得について、以下の 4 種類の方法により測量を実施し、測量に要する時間および精度を測定し、有利な地形データ取得方法を検証した。なお、試験ヤードを図 6 に示す。

① MG情報による地形データ取得

MG情報の一つであるバケット先端座標の表示機能を利用するもので、マークした目的位置にバ

ケット先端の中央（あるいは左右）をあてて、ガイダンスモニターに表示される三次元座標を読み取ることで地形座標を取得する方法（図 3）。

② TS+油圧ショベルによる地形データ取得

MGを装備したバックホウをすぐに準備できない場合を想定して、測量用の反射シートを油圧ショベルのアーム上部に貼り付けて、このシートを TS で視準し、反射シートとバケット先端の位置関係から地形座標を取得する方法（図 4）。

③ TSノンプリズム機能による地形データ取得

測量用ミラー（ターゲット）を使用しないで、測量対象物に直接的にレーザを反射させ地形座標を取得する方法。

④ 写真測量による地形データ取得

デジタルカメラ写真から三次元データを作成する技術を活用した方法（図 5）。なお、今回の写真撮影では、専用のラジコンヘリコプターを使用して上空から撮影を行った。

試験結果は表 1 に示すとおりである。ケース 2 はアームとバケットの角度調整が難しいため、測量時間が長く、精度も悪い結果となっている。ケース 3 については、立木や草などの障害物がなく現場条件が良かったため高い精度が出ているが、実際の現場では今回のような精度が得られない場合、もしくは使用できない場合も想定される。ケース 4 については、精度はそれほど高くないものの広い面積を一度に測量できるため、作業ヤードが広範囲にわたり、形状が複雑な場合は有

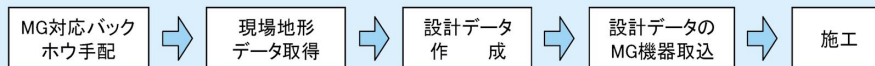


図 2 情報化施工活用フロー

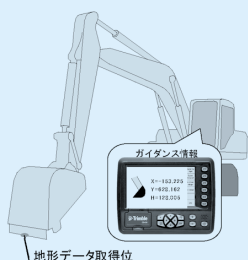


図 3 MG情報による地形データ取得

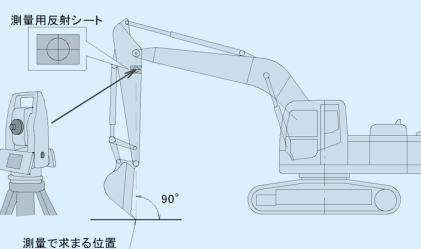


図 4 TS+遠隔操縦式バックホウによる測量

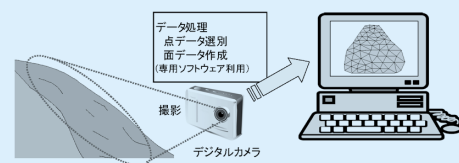


図 5 デジタル写真測量

表 1 地形データ取得試験結果

項目	ケース1 (MG情報)	ケース2 (TS+油圧ショベル)	ケース3 (TSノンプリズム機能)	ケース4 (写真測量)
1カ所当たり所要時間	65秒	130秒	20秒	2.5秒
測量箇所数	21カ所	21カ所	21カ所	1828カ所
測量時間	23分	46分	7分	75分
測量精度	24mm	187mm	15mm	約100mm

効である。これらの選定に当たっては、各取得方法の特徴と現場条件を考慮して、現場ごとに決定する必要がある。

(2) MG用設計データの作成試験

災害時の応急復旧において、位置や形状を定めた設計データの作成は、簡易かつ効率的なものであることが望まれる。そこで、効率的な設計データ作成方法について確認するため、通常の作成方法のほかに簡易的な作成方法を取り入れ、作成に要する時間を検証した。なお、設計対象は、幅3m、深さ1.5m、延長30mの排水路とした。

MG専用ソフトでは、通常「路線データ」(図7)または「TINデータ」(図8)により設計データを作成することになるが、どちらの作図方法においても、作図に必要な座標点を数多く抽出する必要がある。今回取り入れた簡易的な作成方法は、図9に示すように代表断面のみを設計するもので、設計データに必要な各座標についても表計算ソフトを使用し自動算出する方法である。

試験結果を表2に示す。結果としては、簡易作成による方法が最も短時間で作成可能であった。設計対象物の変化点が少なく設計線が単純な場合

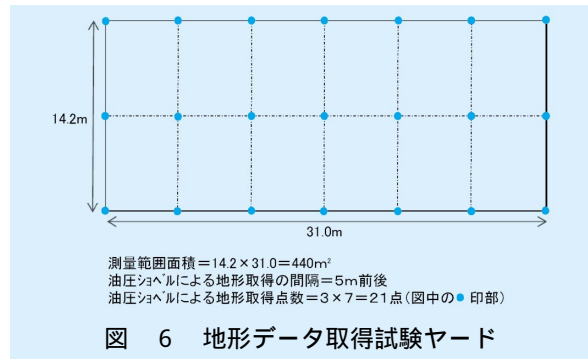


図 6 地形データ取得試験ヤード

においては、非常に有効な手法となると考える。

(3) 施工性検証試験

情報化施工技術を活用した場合の施工能力を検証するため、実際の応急復旧作業を模擬した試験を実施し、操作方式ごとに施工に要する時間と出来形精度を測定した。

試験内容は表3に示すとおりであり、重機の搬入路造成および緊急排水路掘削を模擬した施工性検証試験を各種の操作方式で実施した。なお、排水路掘削・盛土造成試験については、オペレータの技量の違いによる影響を確認するため、遠隔操縦式に慣れている者と、不慣れな者との2名により試験を実施した。

試験結果を表4に示す。

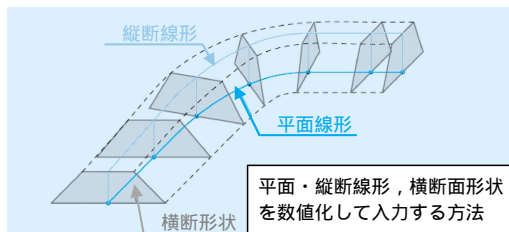


図 7 路線データ

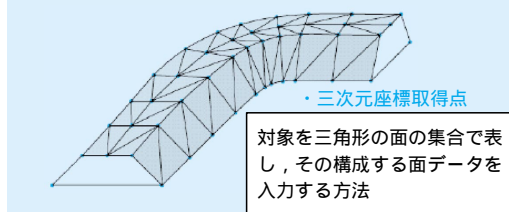


図 8 TINデータ

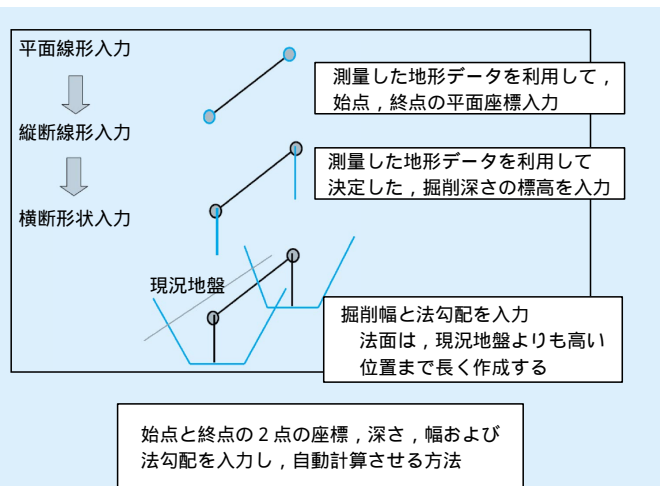


図 9 簡易的な作成方法

表 2 設計データ作成に要した時間

ケース	作成方法	利用ソフト	設計データ作成時間（時間：分）			
			設 計	データ抽出	データ入力	合 計
1	通常作成	手計算	2 : 00	0 : 30	0 : 45	3 : 15
2	簡易作成	エクセル	0 : 30	0 : 00	0 : 20	0 : 50
3	通常作成	2D CAD	2 : 00	0 : 30	0 : 10	2 : 40
4	通常作成	3D CAD	1 : 30	0 : 15	0 : 10	1 : 55

表 3 施工性検証試験項目

ケース	試験内容	操作方式		試験回数	備 考
1	搬入路造成試験	遠隔操作	モニタ確認	各 1 回	オペAは、遠隔操作は熟練、MGは非熟練のオペレータ オペBは、遠隔操作は非熟練、MGは熟練のオペレータ
2		MG + 遠隔操作			
3	排水路掘削・盛土造成	搭乗操作		オペAとオペBで 各 3 回	
4		遠隔操作	目視確認		
5			モニタ確認		
6		MG + 遠隔操作			

表 4 施工性検証試験結果

試験内容	測定項目	試験実施者	操作方式			
			搭乗操作	遠隔操作 (目視)	遠隔操作 (モニタ)	MG + 遠隔操作
搬入路造成試験	作業時間（時間：分：秒）				1 : 34 : 35	1 : 07 : 37
	出来形差分面積（㎡）				6.82	3.76
排水路掘削・盛土造成	作業時間 （分：秒）	オペA	12 : 22	17 : 21	29 : 42	31 : 32
		オペB	20 : 03	27 : 23	32 : 06	28 : 27
	出来形差分面積 （㎡）	オペA	1.08	1.07	0.78	0.34
		オペB	1.09	0.96	0.92	0.46

（注）排水路掘削・盛土造成試験における各操作方式による結果は、3回の平均値を表している。

① オペレータの違いによる影響について

オペレータの技量の違いによる影響については、遠隔操縦に不慣れなオペレータの方がMGの活用効果大きいといえる。これは、遠隔操縦式に慣れているオペレータでは、もともと遠隔操縦式の作業限界に近い効率で作業を行っているため、作業効率の伸び代が非熟練者に比べ少ないことによるものと考えられる。

② 作業効率について

作業効率については、搬入路造成試験ではMGを活用した方が、通常の遠隔操作による施工より

も30%時間短縮が図られている。一方、排水路掘削・盛土造成試験では、あまり時間短縮が図られておらず、オペレータAにおいては逆に時間を要している結果となった。要因としては、以下の内容が考えられる。

- ・搬入路造成試験において、MGがない場合は施工の目安として設置したポールとの位置関係をその都度確認しながら施工していたが、MGを活用した場合には設計線を確認しながらの施工が可能であり、設計線近傍までの粗盛立や粗掘削段階で思い切った作業ができるため、高い作

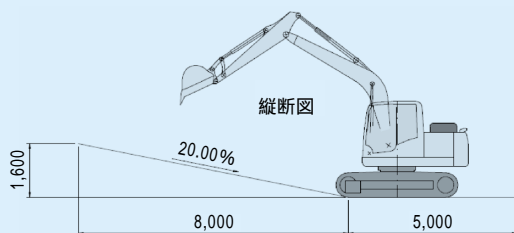


図 10 搬入路造成試験横断面図

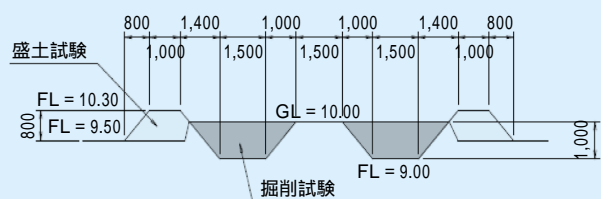
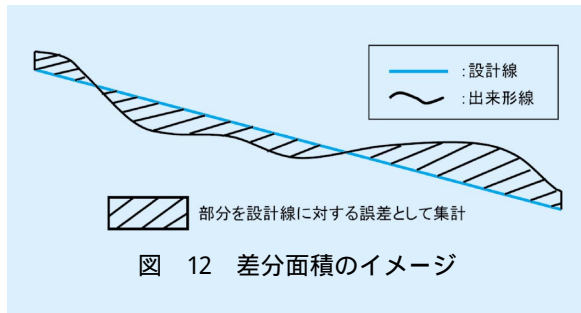


図 11 排水路掘削・盛土造成横断面図



業効率が得られたものと思われる。

- 一方、排水路掘削・盛土造成試験においては、搬入路造成試験に比べ施工ボリュームが少なかったため、粗盛立・粗掘削段階の施工がほとんどなく、最初から繊細な仕上げ作業が必要となったことから、MGの効果が得られなかったと考えられる。また、仕上げにおいて設計線が確認できるがゆえに、バケットの刃先を設計線にしていねいに合わせようとして、逆に時間がかかったものと推察される。

③ 出来形精度について

出来形精度の面では、それぞれの試験において差分面積（設計線に対する出来形のずれ量の合計（図 12））という形で集計した。表 4 に示すとおり、どちらの試験においてもMGを活用した施工の方が、その他の施工方法に比べ誤差が半分程度に抑えられていることがわかる。ただし、災害現場における応急復旧においては高い施工精度を必要としないため、過剰な精度となってしまう。

応急復旧工事においては、前述の排水路掘削・盛土造成試験で効果が得られない原因の一つとなった、「過剰な精度」の確保に費やした時間を低減することで、作業効率の向上を図ることが可能であると考えられる。そのためには、設計線に対して許容線を持

たせる等、過剰精度とならないようにするための工夫や、精度よりも作業速度を意識した施工を心掛けることが重要である。

5. おわりに

今回の試験結果により、災害現場における地形データ取得等、応急復旧時における情報化施工技術活用手法を整理することができた。この結果、情報化施工導入に必要な事前準備は1日あれば可能であることがわかった。これは十分に実用に耐え得るレベルと考える。また、当該システムの導入により、施工規模の条件は付くものの、作業効率の向上が図られるとともに、重機の傾きや崩落土上の正確な位置も確認しながらの施工が可能であるため、安全性の向上も期待される。

本検討では、これらを踏まえ、無人化・情報化施工システムを災害現場に導入するに当たっての留意点等を、事前準備から施工までの前述のフローに沿った形で、「応急復旧時の無人化施工における情報化施工技術活用手引き（素案）」としてとりまとめた。

今後は、試行工事等を活用したシステム検証およびオペレータの育成を図るとともに、実災害現場など多様な現場状況における実績をもとに、同手引き（素案）の検証を進めていく予定である。



写真 2 施工性検証試験状況①



写真 3 施工性検証試験状況②

国土交通省東北地方整備局東北技術事務所 施工調査課長 伊藤 圭
同 施工調査課 施工調査係長 今野 孝親
同 施工調査課 施工調査係 増田 陽介